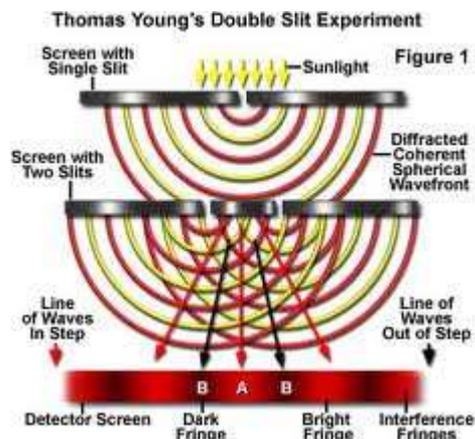


# OTTICA ONDULATORIA

## INTERFERENZA DELLA LUCE - ESPERIMENTO DI YOUNG

Thomas Young (1773-1829), medico e fisico inglese, realizzò un esperimento cruciale nel 1801 e ne presentò gli esiti nel 1803 alla Royal Society. Egli aveva provato la natura ondulatoria della luce, dopo secoli di dibattito tra la scuola di pensiero che sosteneva tale tesi e quella che sosteneva la tesi corpuscolare. Era riuscito infatti a realizzare un fenomeno di interferenza luminosa utilizzando luce solare e dividendo il fascio di luce in due fasci con un sottile foglietto di carta. Oggi l'esperimento è ripetuto in maniera più agevole utilizzando luce monocromatica emessa da un laser e un interferometro, strumento dotato di due sottilissime fenditure molto vicine tra loro ( $\approx 0,5$  mm) da cui emergono due fasci di luce (provenienti da un'unica sorgente, quindi sincroni e coerenti) diffratti in forma di onde cilindriche. La luce è raccolta da uno schermo posto a qualche metro di distanza, dove è possibile osservare una figura di interferenza, costituita cioè da frange chiare e frange scure; a un massimo di luce centrale si alternano zone d'ombra e di luce lateralmente a distanza regolare.



### ANALISI DELL'ESPERIMENTO

Def. Due sorgenti sono coerenti se la differenza di fase è costante nel tempo o se varia molto lentamente rispetto al tempo di persistenza delle immagini sulla retina.

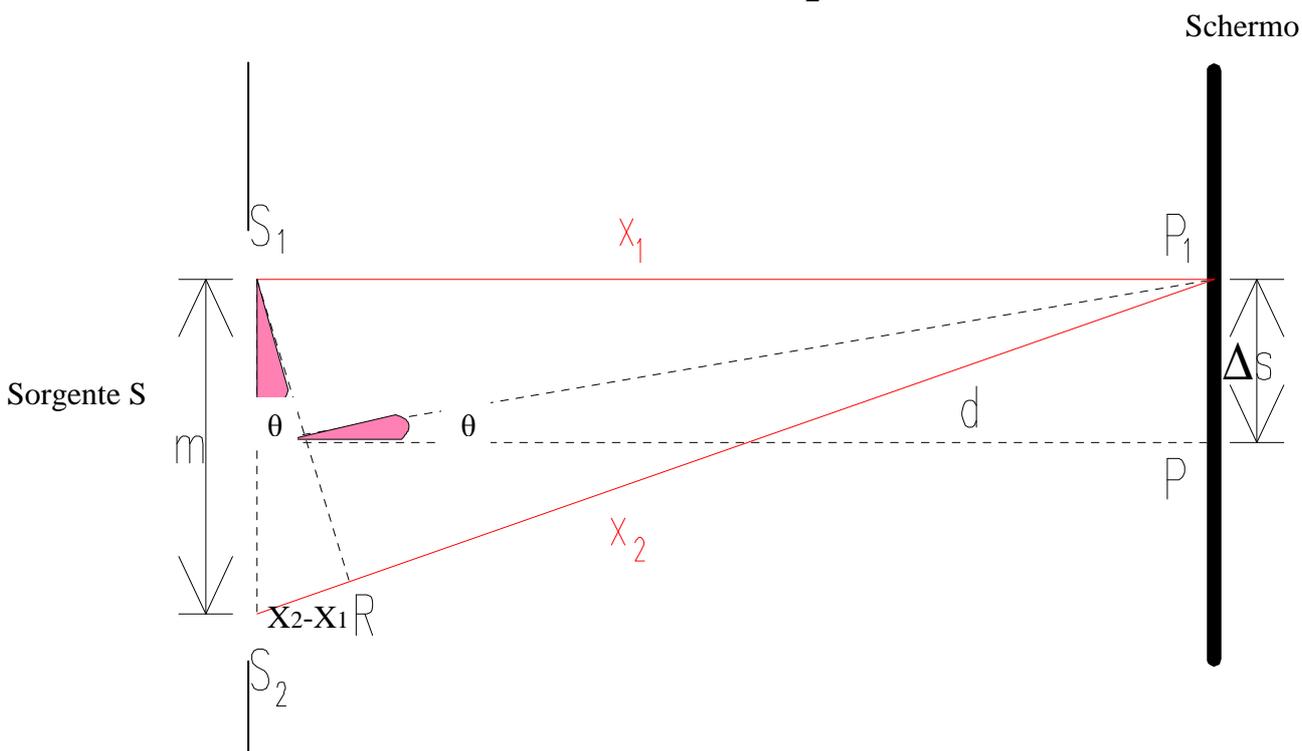
Considerando quindi due sorgenti coerenti  $S_1$  ed  $S_2$ , per le note leggi dell'interferenza, la distribuzione delle frange sullo schermo è tale che in un punto  $P_1$  si ha un massimo luminoso ogni

volta che risulti:  $|x_1 - x_2| = k\lambda$  oppure  $|x_1 - x_2| = 2k \frac{\lambda}{2}$ .

C'è interferenza costruttiva (massimi di luce) ogni volta che la differenza tra i cammini è un numero pari di mezze lunghezze d'onda, cioè un numero intero di lunghezze d'onda.

Ci sarà interferenza distruttiva (buio) ogni volta che la differenza dei cammini sarà uguale a un

numero dispari di mezze lunghezze d'onda:  $|x_1 - x_2| = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ .



Ponendo l'ipotesi che  $d$  sia molto grande rispetto a  $m$  (distanza tra le fenditure) e a  $\Delta s$  (distanza del punto considerato dal massimo centrale), risulta che i due angoli detti  $\theta$  sono molto piccoli e possono essere considerati uguali pur non essendo simili i due triangoli rettangoli corrispondenti; infatti due dei cateti sono realmente ortogonali tra loro, mentre gli altri due non lo sono, ma possono essere considerati tali in prima approssimazione. Inoltre essendo  $\theta$  piccolissimo, vale l'equivalenza tra seno, angolo e tangente:

$$\Delta s = dtg\vartheta \approx d\vartheta$$

$$x_2 - x_1 = S_2 R = m \text{sen} \vartheta \approx m\vartheta$$

Si ottiene poi, mettendo in rapporto le due espressioni precedenti:  $\frac{\Delta s}{x_2 - x_1} = \frac{d}{m}$ .

Supponendo che in P1 ci sia il massimo luminoso di ordine  $k$  si avrà:  $x_1 - x_2 = k\lambda$ , sostituendo si

ottiene  $k\lambda = m\vartheta$  da cui seguirà che  $\lambda = \frac{m\Delta s}{kd}$ .

Analogamente per i minimi di luce, inserendo la condizione di interferenza distruttiva nell'equazione.

Essendo nota la distanza tra le fenditure ed essendo facilmente misurabile la distanza tra l'interferometro e lo schermo, è possibile, misurando le distanze tra il punto centrale e i punti di massimo o minimo di luce, ricavare sperimentalmente la lunghezza d'onda della luce, nel caso si tratti di luce monocromatica.

In particolare, se  $k = 1$ , cioè per il massimo di primo ordine, vale la relazione:  $\lambda = \frac{m\Delta s}{d}$ .

## DIFFRAZIONE ATTRAVERSO UNA FENDITURA

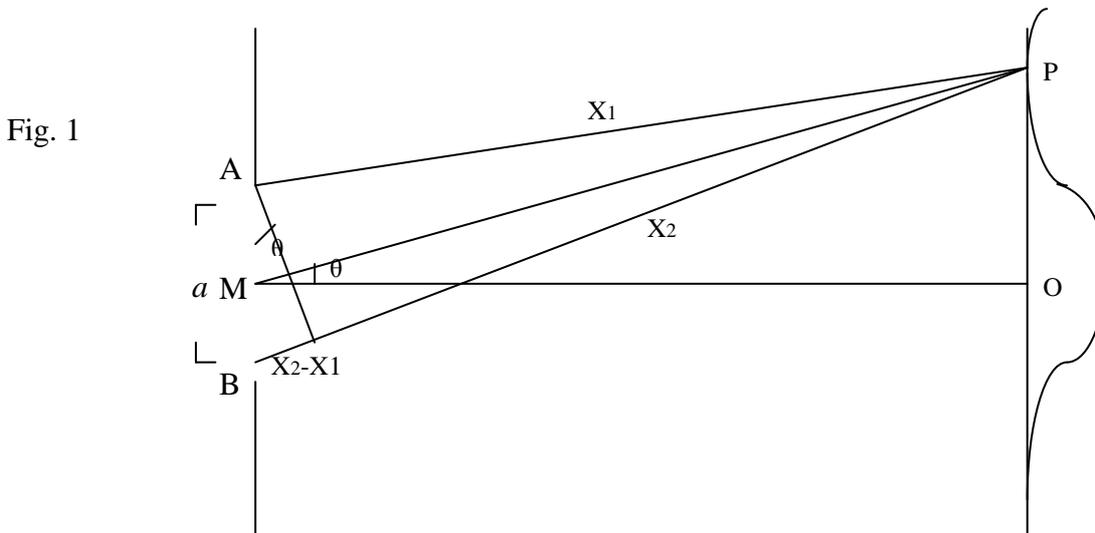
Il fenomeno della diffrazione è particolarmente evidente quando un'onda viene fatta passare attraverso una fenditura di larghezza paragonabile alla lunghezza d'onda; nel caso della luce tale larghezza dovrà essere simile alla lunghezza d'onda della radiazione luminosa.

Poiché la lunghezza d'onda della luce visibile è dell'ordine di  $10^{-7} m$ , il fenomeno non è mai riscontrabile a livello macroscopico nelle situazioni quotidiane; per realizzare la diffrazione è necessario utilizzare fenditure singole di quell'ordine di grandezza o reticoli di diffrazione (molte fenditure poste a distanze regolari).

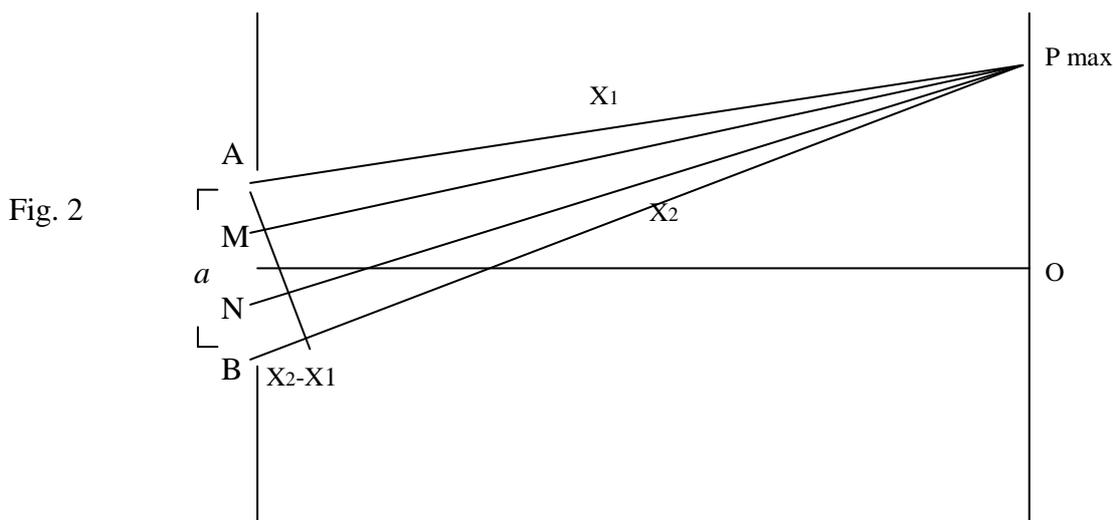
In questi casi sembra che la luce "aggiri" gli ostacoli, in quanto si vedono zone illuminate dove, geometricamente, ci sarebbero zone d'ombra.

Si utilizza un dispositivo in cui il raggio di luce incontra uno schermo con una o più fenditure, in modo da studiare la figura di diffrazione che si forma su un secondo schermo.

Per spiegare in modo semplice le leggi della diffrazione da una fenditura utilizziamo il metodo delle zone di Fresnel.



Immaginiamo, nella figura 1, che il fascio di luce uscente dalla fenditura di ampiezza  $a$  sia diviso in due zone. Supponendo che  $X_2 - X_1$  sia esattamente uguale alla lunghezza d'onda, ci sarà una differenza di  $\frac{\lambda}{2}$  fra il cammino del raggio diffratto uscente da A e il cammino di quello uscente da M. Pertanto essi interferiranno distruttivamente; si può pensare che ogni raggio della prima zona sia associato a un corrispondente della seconda zona in modo che la differenza tra i loro cammini sia sempre mezza lunghezza d'onda. Per tutte le coppie si avrà allora una differenza di fase di  $\frac{\lambda}{2}$  e quindi in P ci sarà solo interferenza distruttiva, cioè P è il primo minimo di luce. La relazione che caratterizza il primo minimo di luce è quindi:  $asen\theta = \lambda$ .



Dividiamo, nella figura 2, il fascio di luce uscente dalla fenditura in tre zone, dove  $AM = MN = NB$ . Supponendo che  $X_2 - X_1$  sia esattamente uguale a  $\frac{3}{2}\lambda$ , ci sarà una differenza di  $\frac{\lambda}{2}$  fra il cammino del raggio diffratto uscente da A e il cammino di quello uscente da M. Pertanto essi interferiranno distruttivamente; si può pensare che ogni raggio della prima zona sia associato a un corrispondente della seconda zona in modo che la differenza tra i loro cammini sia sempre mezza lunghezza d'onda. Per tutte le coppie così scelte si avrà allora una differenza di fase di  $\frac{\lambda}{2}$ ; in questo caso però rimangono i raggi uscenti dalla terza zona e quindi in P ci sarà il primo massimo di luce dopo O. Se associamo a due a due i raggi della seconda zona e della terza essi interferiscono distruttivamente tra di loro ma rimangono i raggi della prima zona, e così via.

La relazione che caratterizza il primo massimo di luce è quindi:  $asen\theta = \frac{3}{2}\lambda$

Generalizzando si ha:

minimi di luce:  $asen\theta = k\lambda$ ,

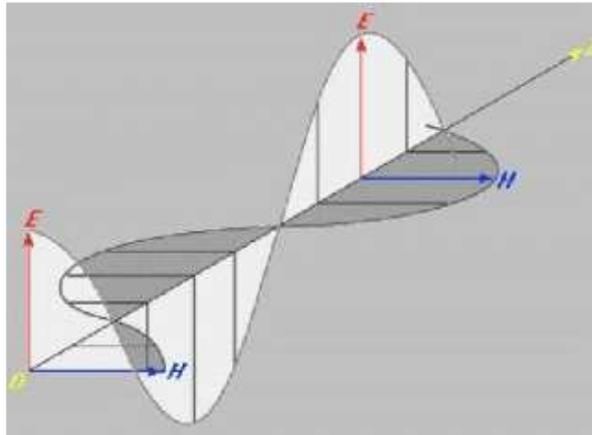
massimi di luce:  $asen\theta = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$ ,

vale cioè una condizione opposta rispetto all'interferenza.

Riconsiderando la relazione valevole per il primo minimo di luce,  $asen\theta = \lambda$ , si può notare che, considerata luce monocromatica, essendo  $\lambda$  costante,  $a$  e  $\theta$  sono inversamente proporzionali. Ciò sta ad indicare che restringendo la fenditura, aumenta l'angolo cioè si allarga la figura di diffrazione. Tendendo  $\theta$  a  $90^\circ$ , la figura scompare. Allargando la fenditura,  $\theta$  diminuisce, si restringe così la figura di diffrazione; se  $\theta$  tende a zero, scompare la figura di diffrazione.

## POLARIZZAZIONE DELLA LUCE

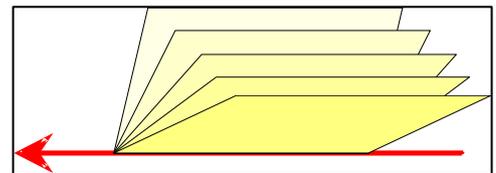
La luce è costituita da fasci di onde elettromagnetiche. Ogni singola onda elettromagnetica è data dalla vibrazione in fase di un campo elettrico e di un campo magnetico su piani tra loro ortogonali che si intersecano sulla direzione di propagazione dell'onda.



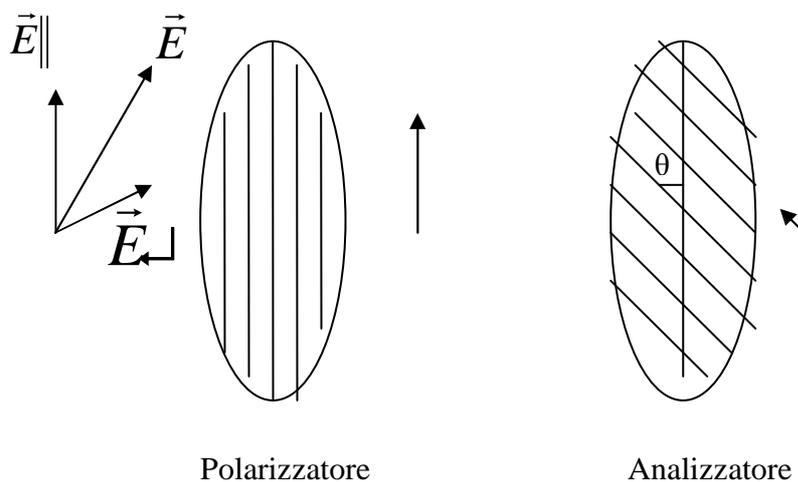
Ogni singola onda elettromagnetica è quindi “polarizzata”, cioè il vettore campo elettrico (e di conseguenza il vettore campo magnetico) giace sempre in uno stesso piano.

La luce comune proveniente da sorgenti come sole o lampadine è costituita da fasci di onde elettromagnetiche sovrapposte casualmente, in cui le singole onde vibrano su piani diversi.

Per polarizzare la luce comune, cioè costringere tutti i campi elettrici a vibrare su uno stesso piano, si usano dei filtri particolari, detti Polaroid. Questi materiali sono costituiti da catene lunghe di molecole collocate in modo da formare una sorta di “cancellata”.



Le componenti della vibrazione parallele alla direzione di polarizzazione del polarizzatore possono continuare ad oscillare attraversando la lamina mentre quelle perpendicolari sono bloccate.



La verifica del fatto che la luce è polarizzata non può essere fatta che tramite un altro filtro, detto analizzatore. Se la luce è polarizzata, l'intensità della luce emergente dall'analizzatore sarà massima quando le direzioni di polarizzazione sono uguali, cioè  $\theta = 0^\circ$ , sarà minima, cioè non si vedrà luce uscire dal filtro, quando  $\theta = 90^\circ$ .

Vale la legge di Malus:  $I = I_{\max} \cdot \cos^2 \vartheta$ .

La verifica sperimentale della possibilità di polarizzare la luce fu una prova del fatto che la luce è un'onda trasversale. Onde longitudinali ovviamente non hanno direzioni di polarizzazione, essendo la vibrazione parallela alla propagazione.